

Gamificación en el aprendizaje de “lean manufacturing”

Alejandro Escudero-Santana, Pablo Aparicio-Ruiz, Jesús Muñuzuri, Carmen Madrigal

Recibido: 15 de Diciembre de 2018 / Aceptado: 15 de Marzo de 2019

Resumen

La enorme aceptación que la filosofía Lean Manufacturing ha tenido en la industria ha llevado a que esta esté incluida en muchos planes de estudios de ingeniería industrial, normalmente en la intensificación de producción. El aprendizaje de la fabricación ajustada requiere un conocimiento previo de muchos conceptos de los sistemas de producción, además de una puesta en práctica de este conocimiento. Debido a que las prácticas en entornos reales no siempre son factibles en un entorno académico, se diseñó un método de enseñanza integrada donde la gamificación representaba un rol fundamental. Los resultados obtenidos, tanto de satisfacción de los alumnos como de logro en el alcance de competencias, han sido enormemente satisfactorios.

Palabras clave

Gamificación, aprendizaje activo, sistemas de producción, cooperación con industria, lean manufacturing.

1. Introducción

Conceptos básicos de planificación y control de la producción son elementos presentes en la mayoría de los currículos de los ingenieros industriales, aquellos que dirigen su especialización en el campo de la producción completan su currículo con conocimiento más profundos al respecto, como es el caso de las metodologías lean.

La cantidad de conocimiento existente, y la especialización de los mismos, ha llevado a que los diferentes planes de estudios de todas las universidades españolas estén diseñados mediante el empaquetado de conocimientos en asignaturas específicas. En relación con el proceso de enseñanza, las ingenierías no han sido una excepción al concepto clásico de enseñanza, en la que el profesor imparte unos conocimientos del que posteriormente son evaluados los alumnos, principalmente a través de una prueba escrita.

La unión de estos dos hechos hace que el alumno pierda en muchas ocasiones la capacidad de conjunto, alejando el

aprendizaje de un mundo industrial donde no existen problemas independientes, y en la que cualquier decisión no sólo afecta al proceso o departamento implicado. Además, la metodología clásica de enseñanza trata al alumno como un elemento pasivo del proceso de aprendizaje.

Muchas metodologías de enseñanza han ido encaminadas a hacer al alumno más participes de su propio proceso de aprendizaje. Metodologías como la clase invertida, la enseñanza basado en problemas o en proyectos han ayudado enormemente a este objetivo. Dichas metodologías se han apoyado normalmente en el uso de laboratorios y talleres, la simulación de escenarios, la simulación por ordenador o, en los últimos años, la gamificación, para acercar a los alumnos lo máximo posible a la realidad y a la integración de conceptos. Ejemplos de sistemas más activos de aprendizaje en la ingeniería pueden encontrarse en los trabajos fin de estudios (Shekar, 2012) o en determinadas experiencias (Muñuzuri et al., 2015).

Centrando la atención en la materia objeto de este trabajo, se podría decir que lean es un modelo de gestión, incluso puede considerarse una filosofía, basada en la mejora continua; que trata de mejorar la calidad y reducir costes y tiempos de producción a través de la eliminación de desperdicios (considerándose desperdicios todo aquello que no aporta valor al cliente). Su origen aparece en los años 50, con el sistema Justo a Tiempo desarrollado por Toyota. La clave del éxito de lean es generar una corriente de pensamiento destinada a encontrar mejoras a todos los niveles de la organización, que permitan que el valor fluya a través de la cadena de productiva. Esto hace que lean sea idónea para ser enseñada a través de métodos activos de enseñanza (Candido et al., 2007).



Alejandro Escudero-Santana *
alejandroescudero@us.es

Pablo Aparicio-Ruiz *

Jesús Muñuzuri *

Carmen Madrigal **

* Departamento de Organización Industrial y Gestión de Empresas II. Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Universidad de Sevilla

** Departamento de Ingeniería Mecánica. Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Universidad de Sevilla.

Lean manufacturing es una materia de una gran sencillez conceptual, pero cuya capacitación real puede resultar compleja. El aprendizaje de lean manufacturing requiere, por tanto, de dos componentes principales, por un lado, una integración de conocimientos de diferente índole y, por otro lado, la puesta en práctica de dicho conocimiento.

En el proceso de aprendizaje, la puesta en práctica de los conocimientos en entornos industriales reales no es siempre factible, debido a las implicaciones económicas que determinadas medidas podrían acarrear, sin embargo, si es posible simular dicho entorno a través de diferentes métodos (con las limitaciones que eso conlleva), por lo que la gamificación es una herramienta de gran utilidad para el aprendizaje de esta materia (Silva et al., 2013; Badurdeen et al., 2009; Costantino et al., 2012; Riis et al., 1993; Lewis y Maylor, 2007).

El objetivo de este trabajo es valorar como la implantación de una metodología activa, basada en la gamificación, mejora la adquisición de competencias, relativas a lean manufacturing, de los alumnos y aumenta su satisfacción. Para ello se muestran tres casos de éxito donde la gamificación ha sido usada en dos vías: como elemento motivador de las diferentes unidades y como elemento de desarrollo de un proyecto de diseño integral. No es objeto de este trabajo la descripción detallada de las actividades de gamificación realizadas, sino como estas actividades favorecen el desarrollo de los estudiantes. La descripción que se realiza de algunas actividades y juegos es sólo realizada para evidenciar la sencillez de aplicación de la propuesta. Se muestran las fuentes de todos los juegos para favorecer la replicación de la metodología.

El trabajo está estructurado de la siguiente forma. La siguiente sección pone en contexto los escenarios donde se ha desarrollado la experiencia. La sección 3 describe la metodología propuesta, poniendo en relieve los fundamentos de ésta y mostrando la estructura de uno de los casos. Las secciones 4 y 5 muestra diferentes ejemplos de uso de la gamificación, relacionados con la enseñanza de lean manufacturing; la distinción entre secciones se corresponde con aquellas experiencias en las que la gamificación es usada como elemento de motivación principalmente y aquellas experiencias donde la gamificación implica una mayor apuesta como herramienta de capacitación. La sección 6 muestra los resultados alcanzados en el estudio, medidos en forma de satisfacción y rendimiento. Por último, la sección 7 concluye el trabajo.

2. Contexto del estudio

Este trabajo está basado en la experiencia de varios profesores de la Universidad de Sevilla en relación con la enseñanza de metodologías Lean Manufacturing. La metodología de enseñanza propuesta, y por ende los resultados obtenidos, ha

sido analizada en tres cursos diferentes que contienen dentro de sus objetivos el desarrollo de competencias relacionadas con las metodologías lean. A continuación, se muestra una descripción somera de las asignaturas donde se ha realizado el estudio:

- Materia optativa de 4º curso del Grado en Ingeniería de las Tecnologías Industriales.
- Materia optativa de 2º curso del Máster Universitario de Ingeniería Industrial.
- Curso de Extensión Universitaria del Centro de Formación Permanente.

Como elemento común de los tres casos de estudio, hay que destacar que las asignaturas en las que se aplica la experiencia son de carácter optativo, así como que el número de alumnos que no excede de 40. Además, todos los cursos se imparten en la Universidad de Sevilla.

Como elemento diferenciador de los tres casos, se tiene tres elementos principales: el nivel académico, las horas de dedicación a la materia, y los profesores implicados. Con relación al nivel académico, la metodología propuesta ha sido testada en tres niveles académicos diferentes: grado, máster y posgrado de extensión universitaria; por tanto, existe una diferencia en el perfil de los alumnos. En el caso del curso de extensión universitaria, existen alumnos con dos perfiles claramente diferenciados: recién titulados que buscan una especialización y profesionales que quieren ampliar competencias. Con relación al número de horas de dedicación a la materia lean manufacturing, la asignatura de grado dispone de 4,5 créditos ECTS, la asignatura de máster de 1,5 créditos ECTS, y el curso de extensión universitario de 10 créditos ECTS. Respecto a los profesores responsables de la materia: las asignaturas de grado y máster son impartidas por profesores diferentes y el curso de extensión es impartido por más de 10 profesores (entre académicos y profesionales).

Toda la casuística mostrada supone un pequeño muestreo de posibles actitudes y motivaciones de los alumnos, así como evita la posible alineación de los resultados con las características de un determinado profesor.

3. Metodología propuesta

Aunque la docencia de cada asignatura está adaptada a las necesidades, requisitos, y contexto específico de cada una ellas, en los tres casos se hace uso de la misma metodología docente, la cual es objeto de este estudio. A continuación, se van a destacar los fundamentos principales de dicha metodología, así como la estructura propuesta para uno de estos cursos.

3.1 Fundamentos

Partiendo de la premisa de que los estudiantes aprenden mejor los conceptos y las herramientas a través de la práctica, la metodología propuesta fue diseñada sobre una fuerte base práctica y el concepto de “learning by doing”.

Además, dado que la realidad industrial necesita de “trabajo en equipo”, los alumnos forman grupos formales de aproximadamente 4 personas, que permanecen inalterados durante toda la materia.

Como se ha mencionado anteriormente, las sinergias e interferencias entre las decisiones de los diferentes departamentos de una empresa son una realidad evidente, por tanto, se propone una metodología que enfatice el carácter transversal y multidisciplinar de la ingeniería.

Todo esto lleva a que la metodología propuesta debe basarse en tres fundamentos:

- Learning by Doing.
- Trabajo en equipo
- Integración de conocimientos.

En este esquema propuesto la gamificación toma un papel fundamental, dado que permite combinar los tres fundamentos de la metodología. En el caso que nos ocupa, la gamificación será usada en dos vertientes: como instrumento de motivación y como herramienta global de integración de conocimientos, donde su aplicación cubre ambos objetivos.

3.2 Estructura propuesta

Lean, cuyo origen puede considerarse el desarrollo de los sistemas de producción Just in Time de la fábrica Toyota (Sugimori et al., 1977), cuenta con un gran número de herramientas que permiten alcanzar resultados satisfactorios en diferentes entornos (Pavaskary et al. 2003). Los contenidos de los cursos donde se ha realizado el estudio cuentan con una serie de sesiones introductorias y de conceptos generales, para posteriormente profundizar en las herramientas más destacadas. La cantidad de herramientas trabajadas, así como la profundidad de dicho trabajo está ligado con el nivel académico y los créditos disponibles en cada materia.

A modo de ejemplo, la Tabla 1 muestra una programación de la asignatura de grado. En este caso los módulos están agrupados en sesiones de entre 1.5 horas de clase, destinando una o dos semanas a cada módulo.

Tabla 1 Contenidos del curso

Modulo	Contenido	Horas
1	Introducción. Los 7 gastos	3
2	Principios Lean. Estandarización, JIT, TQM	3
3	VSM	3
4	5S, Layout en planta	6
5	Nivelación	6
6	SMED	3
7	Kanban	6
8	Jidoka	3
9	TPM	3
10	VSM Futuro. Mejora Continua	3
P	PROYECTOS	6

Esta división en módulos puede parecer contrapuesta al fundamento de integración de conocimiento propuesto de la metodología, sin embargo, durante el desarrollo de las diferentes sesiones se usa el aprendizaje lean como nexo entre diferentes materias de la especialidad de Organización.

Considerando un modulo tipo de 3 horas, una temporización aproximada de este sería la siguiente:

- Contexto del módulo y revisión de conocimientos previos (5 min)
- Actividad de motivación (25 min)
- Explicación de conceptos e identificación de las referencias básicas (60 min)
- Actividad colaborativa (60 min)
- Debate sobre los resultados alcanzados (25 min)

El modulo PROYECTOS propuesto en la metodología tiene una estructura diferenciada del resto, se trata trabajos autónomos que los alumnos han de realizar en grupo. Están basados en la enseñanza basada en proyectos, por lo que refuerzan este carácter integrador de la metodología propuesta (De Graaff and Kolmos, 2003)

A continuación, se mostrarán diferentes ejemplos del uso de la gamificación en la metodología propuesta, tanto como herramienta de motivación (Sección 4), como PROYECTO integral (Sección 5).

4. La gamificación como elemento de motivación

Las actividades de motivación tratan de evidenciar la necesidad de los contenidos de cada módulo. En la medida de lo posible estas actividades han de ser entretenidas y divertidas (Greig et al., 2010), para que de este modo los alumnos presenten una predisposición favorable al trabajo que se desarrollará en el módulo. Una vez que los alumnos aprecian la necesidad de los contenidos que se van a mostrar, estos son explicados y se identifican referencias que pueden ser de utilidad. Posteriormente los alumnos disponen aproximadamente de una hora para resolver un problema de aplicación práctica, que usualmente está escalado para que pueda ser completado en dicho tiempo.

Una lista de las actividades que se desarrollan se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2 Juegos Propuestos

Módulo	Nombre	Objetivos de la actividad / Referencia
1	Ositos de gomas	Mostrar el efecto de la desviación estándar de los procesos sobre el rendimiento de una línea de ensamblado Adaptación de Bicheno (2010)
2	Cerdos y elefantes	Mostrar como un estándar correcto elimina la desviación Adaptación de Bicheno (2010)
3	VSM actual	Mostrar lo intuitivo de ver los problemas de una factoría a través de un VSM Elaboración propia
4	5S numbers	Mostrar el potencial de la filosofía 5S Adaptación de Bicheno (2010)
4	Tuercas y tornillos	Ver las mejoras que las 5S produce sobre el OEE Elaboración propia
5	Lego Truck Factory I	Mostrar los efectos del tamaño del lote sobre la productividad y el lead-time; e introducir la nivelación Juego comercial (www.leanshopping.com)
5	Las cubetas	Mostrar herramientas de auto-balanceo de la línea. Adaptación del juego mostrado en www.warehouse-science.com , basado en la idea de M. Amirhosseini de UPS Worldwide Logistics.

Tabla 2 (continuación)

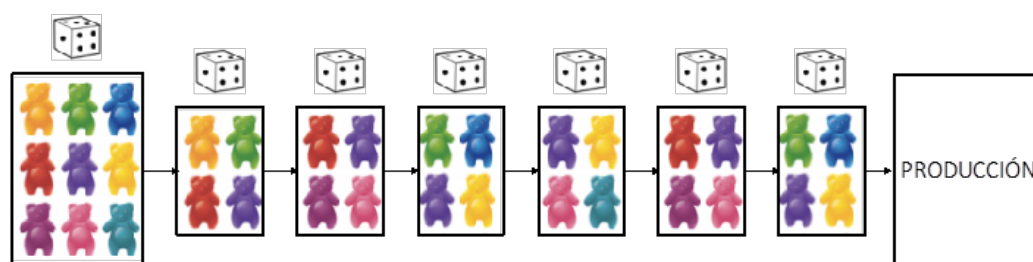
6	La tetera	Mostrar cómo se pueden reducir tiempos de setup Elaboración propia a partir de video
7	Lego Truck Factory II	Introducir kanban y tarjetas de producción Juego comercial (www.leanshopping.com)
7	Lego Boat Factory	Mostrar la dinámica de las tarjetas de transporte Juego comercial (www.leanshopping.com)
8	El avión	Mostrar la importancia de la detección temprana de problemas de calidad Elaboración propia
8	El folio	Mostrar el potencial de la integración de herramientas SMED y Poka-yoke Adaptación de López-Perea (2016)
9	Check TPM	Presentar la herramienta TPM Adaptación de López-Perea (2016)

En la programación tipo de un modulo se ha mostrado de forma desagregada tres elementos (motivación, explicación, actividad colaborativa). A veces estos elementos aparecen integrados en una sola actividad de mayor duración, como dos de los ejemplos (secciones 4.3 y 4.4) que se mostrarán a continuación.

4.1. Ositos de goma

La primera actividad es un juego donde se simula una línea de ensamblado. El objetivo es tratar de producir el mayor número de ositos de goma (golosinas). Cada proceso tiene su rendimiento definido por un dado, de este modo el rendimiento medio de cada proceso es de 3.5 ositos por ronda. La línea se encuentra precargada, con 4 ositos de WIP en cada proceso. El proceso inicial, considerado la recepción de materias primas, nunca tendrá problemas de abastecimiento. Se simulan un total de 20 rondas (Figura 1).

Figura 1 Juego ositos de goma: estado inicial



Antes de empezar la actividad, los alumnos son preguntados por la producción esperada. La cual es estimada por la mayoría de los alumnos en: 20 rondas * 3,5 ositos/ ronda = 70 ositos. Después de varias rondas, los estudiantes observan como la desviación en los procesos afecta al rendimiento esperado de la línea. Además, aparecen diferentes tipos de desperdicios como tiempos en vacío, excesivo inventario en proceso, etc.

En una segunda ronda se reduce la dispersión en el ritmo de producción usando diferentes dados {2, 2, 3, 4, 5, 5} y {3, 3, 3, 4, 4, 4}, mejorándose drásticamente los resultados. La actividad permite justificar la importancia de reducir la incertidumbre de los procesos para la generación de flujo.

4.2. Tuercas y tornillos

Este juego pone en valor y relaciona la metodología 5S y su influencia en la mejora del índice de eficiencia global (OEE, Overall Equipment Effectiveness). Los alumnos, divididos en grupos de 4 componentes, disponen de un material inicial con el cual han de realizar un producto determinado (el montaje de una pieza consistente en un tornillo, una tuerca, y 4 arandelas diferentes). Aunque el producto a realizar es el mismo, cada grupo dispone de diferente materi-

al inicial, dado que se les ha suministrado material en exceso para simular el desorden. Los alumnos no conocen a priori el material que se les asigna.

Se realizan 4 rondas, y en cada ronda se analiza el número de grupos que realiza de forma correcta el producto, así como el tiempo invertido en su realización. Las características de cada ronda son mostradas en la Tabla 3. Dado que cada grupo dispone de 4 alumnos, cada ronda es realizada por uno de ellos, los alumnos que no han realizado todavía el montaje permanecen fuera del aula, de este modo se elimina el efecto la experiencia y la formación en el tiempo de montaje.

Realizadas todas las rondas se analizan los resultados obtenidos. Aunque los alumnos no conocían a priori el material asignado, el profesor si es consciente de las circunstancias de cada grupo. Existen grupos con el material preciso, grupo con excedente de determinadas piezas, grupos a los que le falta alguna pieza, grupos que tienen piezas parecidas a las necesarias, pero son defectuosas, etc. La actividad demuestra como la aplicación paulatina de las tres primeras S de la metodología 5S permite aumentar el indicador OEE del proceso. Además, pone de manifiesto un aspecto fundamental, como las 5S ayudan a aumentar la rapidez en la detección de anomalías.

Tabla 3 Juego tuercas y tornillos: características de cada ronda

Ronda	Características
Ronda 1	Material extra y desordenado. Órdenes de trabajo por escrito.
Ronda 2	Material extra y desordenados. Órdenes de trabajo gráficas
Ronda 3	Sólo material preciso, pero desordenado. Órdenes de trabajo gráficas
Ronda 4	Material preciso dispuesto en orden de montaje. Órdenes de trabajo gráficas.

4.3. Las cubetas

La actividad simula una línea de selección o preparación de pedidos, y tiene por objetivo capacitar a los alumnos en decisiones relativas al diseño de líneas. Para ello además del análisis de tiempos deberán discutir sobre las medidas de mejora más adecuadas para aumentar el rendimiento de la línea. La actividad sirve para ejemplificar sistemas auto-balanceados.

Como se puede observar en la Figura 2, la experiencia tiene bajo coste dado que se utiliza un material muy básico, que consiste en vasos y pajitas de plástico, pinzas de hielo y

palillos chinos; junto a la impresión de las órdenes de pedido, las indicaciones de los puestos de trabajo, y unas hojas en las que se indican los tiempos de llegada de los pedidos para realizar los análisis correspondientes.

La actividad se puede desarrollar de diversas formas. De forma dirigida, en la que se analizan diversas situaciones presentadas por el profesor. O de forma libre, en la cual se explica el problema, y se les pide a los alumnos que se organicen para gestionar la tarea. La segunda, motiva más a los alumnos, los hace partícipes del problema y generar más discusiones sobre porqué y como se decidió resolver el problema; pero requiere de más tiempo de desarrollo. La Figura 2 muestra un grupo de alumnos implicados en la actividad.

Esta actividad, además de cómo elemento de motivación, sirve de vehículo para el desarrollo de conceptos relacionados con: el rendimiento, el trabajo en proceso, el tiempo de entrega, bucket brigades, etc. Además, pone en relieve dos

aspectos que implican pérdida de eficiencia que deben ser tenidos en cuenta a la hora de aplicar bucket brigades, el bloqueo y las pérdidas en la transferencia del pedido (Koo, 2009).

Figura 2 Juego las cubetas: alumnos realizando la actividad



4.4. Truck and boat Factories

Truck and boat factories son juegos destinados a medir la eficiencia de diferentes sistemas de control de la producción. Estos juegos simulan una factoría mediante piezas de ensamblaje Lego®, en el primer caso se trata de la fabricación de un camión, y en el segundo de una pequeña barca. El uso de Legos está extendiéndose en la enseñanza de sistemas productivos debido a su simplicidad (Muller et al., 2015), en la sección 5 proponemos otra actividad que hace uso de ellos.

Tabla 4 Juego Truck Factory: características de cada ronda

Ronda	Layout	Lote de Trabajo	Sistema de Control	Nivelación
1	Inadecuado	Elevado	Push	Sin nivelar
2	OK	1	Push	Sin nivelar
3	OK	1	Pull	Sin nivelar
4	OK	1	Pull	Nivelado

Boat Factory está destinado a mostrar a los alumnos conceptos relativos de la gestión de la cadena de suministro (SCM, supply chain management), y diferentes herramientas que permitirían optimizar las relaciones dentro de la cadena: milk-runs, kanban, vendor-managed inventory, supermercados, etc. El juego nuevamente discurre en diferentes rondas donde las diferentes técnicas van aumentando el rendimiento del sistema de gestión.

5. La gamificación como elemento integrador

Además de las actividades que se realizan en el aula durante el desarrollo de las diferentes sesiones de los cursos, los alumnos (en grupo) deben realizar un PROYECTO de mayor complejidad y que trata de aproximar, mediante simulación, la realidad industrial al aula. Dicho proyecto se realiza de forma autónoma por los alumnos, aunque existen una serie de sesiones de tutorización.

El proyecto consiste en el diseño de una Factoría Lego con capacidad para realizar tres tipos diferentes de vehículos, los cuales tienen en común un gran número de piezas, aunque el montaje se realice en diferente orden. Esta actividad, diseñada por autores de este trabajo, y se apoya en LEGO® Creator Series 3 en 1 (Figura 4.a), dada la existencia de un gran número de referencias en esta serie (packs), la versatilidad del juego es enorme. Evitándose que los alumnos puedan compartir resultados entre diferentes cursos académicos.

Los alumnos, que ejercen el rol de departamento de producción, reciben una serie de especificaciones por parte de la gerencia de la planta, rol ejercido por los profesores, y deben proponer aquellos diseños que consideren más adecuado, argumentando cada una de sus decisiones.

Los alumnos empiezan el juego con un diseño preestablecido de las factorías, y en diferentes rondas se van introduciendo mejoras sobre la misma. Truck Factory está centrado en el diseño y gestión de sistemas de producción dentro de una factoría, las diferentes iteraciones del juego hacen evolucionar a la factoría por una serie de mejoras (Tabla 3).

La información inicial disponible está relacionada con las estimaciones de pedidos de los diferentes vehículos, superficie disponible actualmente en la planta, coste hora del operario, etc. Cada grupo recibe diferentes especificaciones. Cualquier otra información que necesiten es parte del propio trabajo.

Los alumnos, departamento de producción, son libre de considerar cualquier solución que consideren, siempre y cuando su respuesta sea justificada. A modo de ejemplo podrían proponer un cambio de instalaciones, la adquisición o diseño de cualquier tipo de utillaje o mobiliario que facilitara la flexibilidad y operatividad de la planta, la introducción de horas extras ante determinadas circunstancias, etc. Para ello deberían justificar la inversión, o consultar en un catálogo el precio de un determinado material, o analizar el coste de la medida que se considere.

A pesar de la libertad en la solución, si se les proporciona una serie de aspectos básicos que han de analizar: (1) estudio de las relaciones de precedencia entre tareas; (2) medidas de tiempos; (3) Análisis de los requisitos de demanda de los diferentes productos; (4) localización de tareas en estaciones y procedimientos de setup (si diera lugar); (5) simulación del proceso diseñado.

Los grupos deben entregar un documento justificando las decisiones adoptadas, y mostrar algunas métricas que muestren la calidad de la propuesta, además de realizar una defensa pública de sus propuestas. La Figura 3 muestra resultados parciales de la memoria de algunos grupos, el diagrama de precedencias (3.b) y la propuesta sintética de diseño (3.c).

Figura 3 Factoría LEGO® 3 en 1: (a) ejemplo de pack (b) diagrama de precedencias (c) propuesta de diseño



6. Resultados alcanzados

Para evaluar la metodología propuesta se plantearon una serie de medidas, destinadas tanto a conocer la satisfacción de los alumnos, como la capacitación efectiva que la metodología proporcionara.

Con respecto a la valoración de los alumnos, se concretaron dos instrumentos. En primer lugar, analizar las encuestas que la propia Universidad de Sevilla realiza, y en los casos posibles, comparar los resultados de las asignaturas implicadas en el estudio con los resultados de otras asignaturas de similar temática. En segundo lugar, realizar encuestas ad-hoc a los alumnos que realizan estos cursos, para conocer su valoración de determinados aspectos concretos.

Con respecto a la utilidad real de la metodología, como instrumento que mejora el proceso de aprendizaje de los alumnos, se plantearon 2 medidas. La primera, comparar los resultados académicos de las asignaturas del estudio con las de otras asignaturas similares. En segundo lugar, preguntar a los alumnos egresados, transcurridos unos años, sobre la utilidad de las competencias adquiridas y su desempeño.

Estos resultados han sido analizados durante 5 años en la asignatura de grado. Las otras dos materias objeto de estudio, dado que existen menos años de implantación de la metodología y que no toda la materia es impartida siguiendo el método propuesto, han sido usadas como elemento de refuerzo para sustentar los resultados alcanzados.

Todos los resultados se muestran en los siguientes epígrafes, junto con un apartado destinado a la percepción de los profesores implicados.

6.1. Encuestas de satisfacción de los alumnos

Las encuestas que desarrolla la universidad se encuentran incluidas dentro del programa de evaluación del profesorado de la propia Universidad de Sevilla, que sigue las directrices marcadas por la ANECA. El cuestionario consta de 18 ítems (Tabla 4). Su fiabilidad y validez fue contrastada en 2009-2010 por el Centro Andaluz de Prospectiva. Su valoración se realiza sobre 5 puntos.

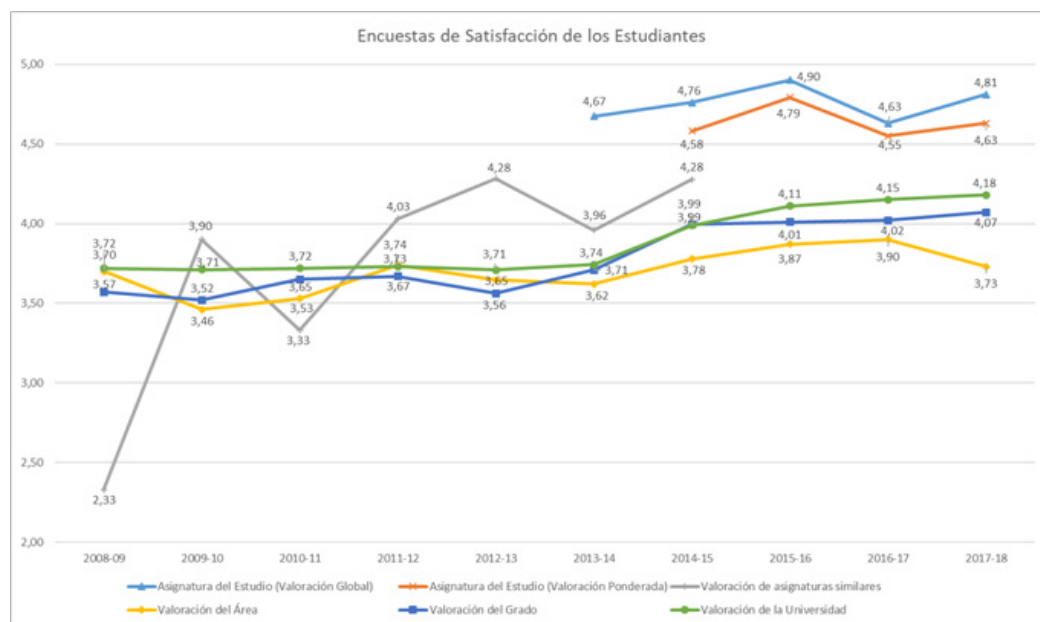
Tabla 5 Contenido de la encuesta de calidad de la Universidad de Sevilla

#	Pregunta
1	Me ha dado orientaciones para conocer el proyecto docente de la asignatura
2	Su docencia se ajusta a la planificación prevista en el proyecto docente
3	Me atiende adecuadamente en tutorías
4	Su horario de tutorías es adecuado
5	La bibliografía y demás material docente recomendado me están resultando útiles para el seguimiento de la asignatura
6	Su docencia está bien organizada
7	Los medios que utiliza para impartir su docencia son adecuados para mi aprendizaje
8	La bibliografía y demás material docente recomendado están a disposición de los estudiantes
9	Explica con claridad
10	Se interesa por el grado de comprensión de sus explicaciones
11	Expone ejemplos para poner en práctica los contenidos de la asignatura
12	Resuelve las dudas que se le plantean
13	Fomenta un clima de trabajo y participación
14	Motiva a los/las estudiantes para que se interesen por la asignatura
15	Trata con respeto a los/las estudiantes
16	Su docencia me está ayudando a alcanzar los objetivos de la asignatura
17	Los criterios y sistemas de evaluación me parecen adecuados para evaluar mi aprendizaje
18	En general, estoy satisfecho/a con la actuación docente desarrollada por este/a profesor/a

En la Figura 5 se muestran los resultados medios obtenidos en la asignatura de grado durante sus 5 años de existencia. En relación con la propia asignatura aparecen dos valoraciones, la valoración global con la que los alumnos valoran la asignatura (pregunta 18), y una media ponderada de los diferentes ítems. Hasta el curso 2014-15 la universidad consideraba la pregunta 18 como indicador global de la encuesta, sirviendo el resto de las preguntas como instrumento de mejora del profesor. A partir de dicho curso, la universidad adoptó como medida global una valoración ponderada de to-

das las preguntas. Esta modificación resultó en una mayor valoración media de las áreas, titulaciones y universidades (como puede observarse). En el caso de la asignatura de grado analizada, ambas valoraciones son muy superiores a las medias institucionales. Además, la Figura 4 muestra la comparativa con los resultados de las asignaturas del plan antiguo que cubrían la materia objeto de estudio. Hay que destacar que los profesores que proponen esta metodología eran también partícipes de dichas asignaturas.

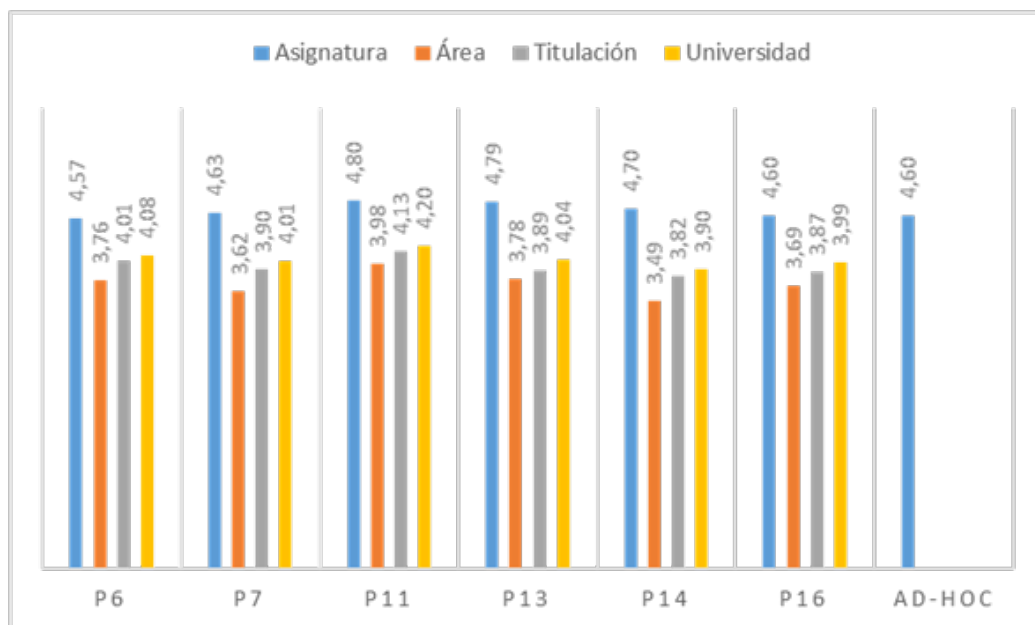
Figura 4 Resultados generales de la encuesta de satisfacción



Dentro de la encuesta de la propia Universidad (Tabla 4), se han destacado (en negrilla) algunos ítems que resultas más adecuados para valorar la adecuación de la metodología. Además, en el periodo 2013-2017 se realizó, por el profesorado que impartía dichas asignaturas, unas encuestas ad-hoc sobre la metodología seguida. La Figura 5 recoge una com-

parativa de los resultados obtenidos en los 6 ítems destacados entre la asignatura el área, la titulación y la Universidad. Dicha figura muestra también el resultado de la encuesta ad-hoc. Los resultados mostrados son la media de los cursos analizados, dado que la desviación es pequeña.

Figura 5 Resultados específicos de las encuestas de satisfacción



Como puede observarse, los resultados de la encuesta ad-hoc son coherentes con la valoración obtenida en los seis ítems seleccionados. La encuesta ad-hoc presentaba una pregunta abierta donde los alumnos pudieran expresar libremente y de forma anónima su opinión. Algunos comentarios obtenidos son los siguientes:

- “Creo que la metodología usada es muy buena. Hacer casos prácticos en clase me sirve para aprender”.
- “Creo que se gasta mucho tiempo haciendo las actividades. Podría destinarse a dar más contenidos”.
- “En general, la asignatura más interesante del grado. Las clases son muy amenas. La presentación de ATAI consulting fue una gran experiencia”.
- “Estoy muy satisfecho con el curso. Considero que el método es muy adecuado para motivar a los estudiantes. Puedo decir que he aprendido sin darme cuenta. Quizás podríamos profundizar en algunas partes.”
- “Esta es la asignatura más interesante de los cuatro cursos del grado. Ahora tengo un gran interés en aprender más sobre Lean. Me gustaría estudiar un máster que estuviera relacionado”.

- “A pesar de ser la asignatura donde más he disfrutado, aconsejaría a mis compañeros de otros años a matricularse de (nombre de otra materia). La carga de trabajo aquí es muy elevada”

Los comentarios mostrados son una muestra que trata de reflejar la mayor parte de las opiniones, sin tratar de ser un reflejo proporcionado de comentarios negativos frente a positivos. El porcentaje de comentarios positivos es proporcionalmente mucho más elevado que en la muestra presentada.

6.2. Resultados académicos

Un aspecto fundamental en la valoración de la metodología está relacionado con los logros académicos de los estudiantes. Las Figuras 6 y 7 muestran los resultados de los alumnos en la asignatura durante el periodo 2013-2018. Estos resultados, al igual que se realizó en el caso de las encuestas de satisfacción de los estudiantes, han sido comparados con los resultados obtenidos en asignaturas del plan pre-Bolonia donde se impartían contenidos relacionados (marcados con asterisco). La Figura 6 muestra el número total de alumnos que obtienen una calificación, mientras que la Figura 7 muestra estos valores como porcentaje del número de alumnos.

Figura 6 Resultados obtenidos por los estudiantes – Valores absolutos

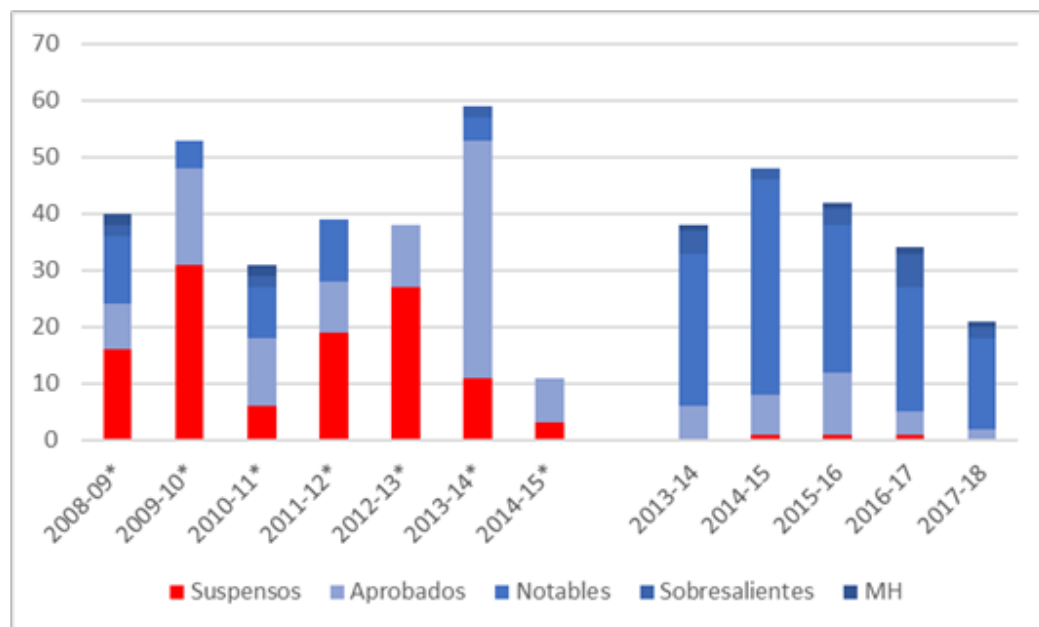
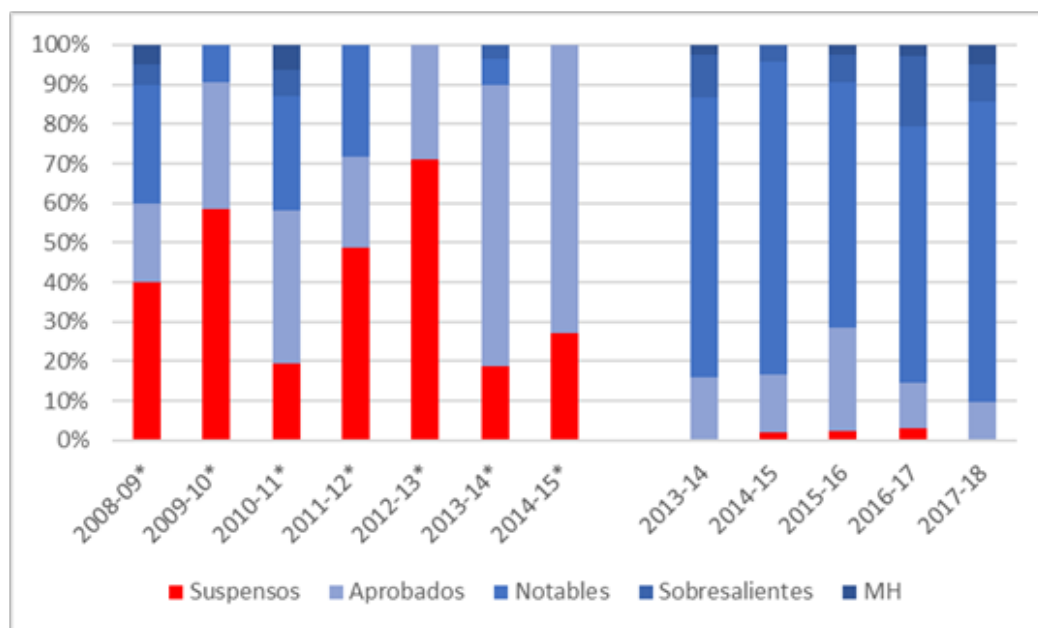


Figura 7 Resultados obtenidos por los estudiantes – Valores porcentuales



Puede observarse como las calificaciones medias de los estudiantes aumentan considerablemente y además se reduce el número de alumnos que no alcanzan las competencias exigidas para superar la materia. Otro factor importante, aunque no mostrado en las figuras, es el número de alumnos no presentados. El número de alumnos no presentados durante los 5 años de este estudio ha sido de {0, 1, 3, 1, 3}, coincidiendo salvo en dos casos con alumnos que ni siquiera cursaron la materia. Esto supone un ratio del 6,61% de alumnos no presentados, que se reduciría al 1,09% si se limitará a los alumnos que han cursado la materia.

6.3. Encuestas realizadas a alumnos egresados

A los alumnos egresados de la primera y segunda promoción se les realizó una encuesta telemática para que valoraran la materia. En dicha encuesta se les pedía que especificaran su situación actual. Las preguntas y resultados obtenidos se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6 Encuesta realizada a alumnos egresados

Pregunta	Respuestas	Media
Satisfacción con grado	24	3.91
Satisfacción con la especialización de producción y gestión	24	4.58
Satisfacción global con el curso	24	4.66
Satisfacción con el método del curso	24	4.41
Satisfacción con las destrezas desarrolladas en el curso	24	4.58
Si actualmente está estudiando, utilidad del curso	16	4.00
Si actualmente está trabajando, utilidad del curso	8	4.75
Si está trabajando en un entorno productivos, utilidad del curso	6	5.00

6.4. Valoraciones de los otros casos

Como se ha comentado en la Sección 2, la metodología propuesta está siendo valorada en 3 grados diferentes. A pesar de que los principales resultados han sido estudiados en el caso del grado, los otros dos casos también presentan evidencias del éxito de la metodología.

En el caso de la asignatura de máster, dado que la metodología solo se aplica a menos de un 25% de la materia, extrapolar los resultados generales de las encuestas, así como los resultados de la asignatura, a la aplicación del método carecería de rigor. Por eso, se optó por realizar un sondeo sobre la actividad mostrada en el epígrafe 4.3. Para ello se realizaron una serie de preguntas antes y después de la ac-

tividad para detectar el conocimiento de los alumnos sobre diferentes conceptos (balanceo de línea, bucket brigades, tiempo de ciclo, tasa de producción, WIP, etc.). El nivel de conocimiento detectado por el sondeo pasó de 1,97 a 3,42 (en una escala de 4).

En el caso de curso impartido en el centro de formación permanente, se optó por comparar los resultados de satisfacción de aquellos módulos cuyos profesores usaban la metodología propuesta con aquellos otros módulos que presentaban una metodología más cercana a la clase magistral. El curso está dividido en 3 módulos teórico-prácticos (fundamentos, cadena de valor y calidad). Los módulos “fundamentos” y “cadena de valor” usaron la metodología propuesta. La Tabla 7 muestra que los alumnos valoraron mejor los módulos que hicieron uso de gamificación.

Tabla 7 Resultados de encuestas del curso de extensión universitaria

Curso	Elemento valorado	Módulo Fundamentos	Módulo cadena de valor	Modulo calidad
2015-16	Ponente	4,72	4,74	4,38
	Módulo	4,71	4,63	3,95
2016-17	Ponente	4,51	4,37	4,07
	Módulo	4,60	4,29	3,69

Además, este curso de extensión existe un módulo práctico denominado “despliegue final”. Dicho módulo se imparte en las instalaciones de empresas que colaboran con el curso, como es el caso de una multinacional aeronáutica y otra del sector de la automoción. La valoración de los profesionales encargados del módulo “despliegue final” sobre la capacitación de los estudiantes fue muy positiva.

6.5. Experiencia de los profesores

Un aspecto que a veces se obvia en este tipo de estudios, pero que consideramos de gran importancia, es la propia experiencia de los profesores y sus impresiones. Aunque este epígrafe carecería de todo valor científico, creemos que puede ser de enorme utilidad para aquellos profesores que quieran optar por este tipo de metodologías activas.

Antes de valorar cualquier aspecto, es importante poner en relieve que, aunque el artículo se ciña al estudio de los efectos de la gamificación en la enseñanza de lean manufacturing, la experiencia se completa con otros dos elementos: mesas redondas de profesionales del sector, que traen su experiencia a las aulas, y con proyectos voluntarios que los alumnos deben realizar en las instalaciones de empresas. Estos proyectos están limitados a la detección de anomalías y la propuesta de mejoras. Es importante esta mención dado que muchas apreciaciones son fruto de conversaciones con los profesionales mencionados.

Con relación a la puesta en marcha de la metodología, comentar que esta requiere de clases muy dinámicas. Por lo que su docencia necesita una preparación previa muy elevada, y un gran esfuerzo de control y supervisión durante las clases. Sin lugar a duda, este esfuerzo es compensado con la satisfacción del feedback proporcionado por los estudiantes, no solo a nivel de encuesta, sino de las sensaciones percibidas durante las clases. Este feedback además permite la mejora continua dentro de la propia asignatura.

Otro aspecto importante es que algunas de las actividades deban estar planteadas de modo que no corten la creatividad e imaginación de los alumnos. El método está planteado para formar a los alumnos en destrezas analíticas, por lo que debe fomentarse que el alumno valore los pros y contras de sus diferentes decisiones. Además, esto favorece el debate relativo al efecto de determinadas medidas: ¿qué ocurre si eliminamos o añadimos recursos a la línea?, ¿qué características tiene que tener el trabajo a desarrollar para que se pueda aplicar este sistema? En estos casos es aconsejable enfocar las actividades más desde la consecución de unos objetivos que desde el desarrollo de una receta programada.

La calidad de los trabajos entregados, los debates generados, las conversaciones con los profesionales con los que interactúan los alumnos, además de los resultados obtenidos en las diferentes pruebas, nos llevan a considerar que la metodología es eficiente formando a profesionales que necesiten usar lean manufacturing. Además, favorece la participación

activa en la materia. Sin embargo, es importante destacar que también requiere de un esfuerzo importante por parte de los alumnos.

7. Conclusiones

El aprendizaje de lean manufacturing requiere de la integración de conocimientos de diferente índole. La utilización del juego como vehículo de aprendizaje facilita enormemente esta labor. Este artículo ha propuesto el uso de la gamificación como instrumento para generar motivación en los estudiantes, así como metodología que permite integrar de forma práctica diferentes conceptos.

La metodología propuesta ha sido puesta en marcha en tres casos distintos: una asignatura de grado, otra de máster y un curso de extensión universitaria. En todos los casos estudiados se tienen evidencias de que dicha metodología aumenta la satisfacción de los estudiantes.

En el caso de la asignatura de grado, este estudio se amplió con los resultados alcanzados por los estudiantes. Los datos demuestran que sus resultados mejoran, siendo especialmente significativo en bajo índice de alumnos que abandonan la materia.

8. References

- Badurdeen, F., Marksberry, P., Hall, A. y Gregory, B. (2009). Teaching Lean Manufacturing with Simulations and Games: A Survey and Future Directions. *Simulation & Gaming*, 41: 465-486.
- Bicheno, J. (2010). *The Lean Games Book: Participative Games for Learning Lean*. Picsie Books.
- Candido, J. P., Murman, E. M. y MacManus, H. (2007). Active Learning Strategies for Teaching Lean Thinking. In: *Proceedings of the 3rd International CDIO Conference*, p. 12.
- Costantino, F., Di Gravio, G., Shaban, A. y Tronci, M. (2012). A simulation based game approach for teaching operations management topics. In: *Proceedings of the 2012 Winter Simulation Conference (WSC)* 1(12): 490. IEEE.
- De Graaff, E. y Kolmos, A. (2003). Characteristics of Problem-Based Learning. *International Journal of Engineering Education*, 19(5), 657-662.
- Greig, A., Missingham, D. y Kestell, C. (2010). Engineering humour: A student's perspective on the effective use of humour in engineering education. In: *Engineering Education 2010: Inspiring the Next Generation of Engineers*, EE 2010.
- Koo, P.H. (2009) The use of bucket brigades in zone order picking systems. *OR Spectrum* 31. 759-774
- Lewis, M. A. y Maylor, H. R. (2007). Game playing and operations management education. *International Journal of Production Economics*, 105: 134-149.
- López-Perea, E.M., Mariscal-Saldaña, M.A. y García-Herrero, S. (2016) New ways to evaluate learning. Assessing teamwork using TPM and a Poka-Yoke design. In: *2nd International Conference on Higher Education Advances*. HEAd'16. Valencia. 287-294.
- Müller, B. C., Reise, C. y Seliger, G. (2015). Gamification in factory management education: a case study with Lego Mindstorms. *Procedia CIRP*, 26: 121-126.
- Muñuzuri, J., Cortés, P., Grosso, R. y Onieva, L. (2016). Teaching Heuristic Methods to Industrial Engineers: A Problem-based experience. *INFORMS Transactions on Education*, 16: 60-67.
- Pavnaskary, S. J., Gershenson, J. K. y Jambekar, A. B. (2003). Classification scheme for lean manufacturing tools. *International Journal of Production Research*, 41(13), 3075-3090.
- Riis, J. O., Johansen, J. y Mikkelsen, H. (1993). *Games in production management*. Elsevier Science Publishers.
- Shekar, A. (2012) Research-based enquiry in Product Development education: Lessons from supervising undergraduate final year projects. *International Journal of Industrial Engineering: Theory, Applications and Practice*, 19(1): 26-32
- Silva, I. D., Xambre, A. R. y Lopes, R. B. (2013). A simulation game framework for teaching lean production. *International Journal of Industrial Engineering and Management*, 4: 81-86.
- Sugimori, Y., Kusunoki, K., Cho, F. y Uchikawa, S. (1977). Toyota production system and Kanban system Materialization of just-in-time and respect-for-human system. *International Journal of Production Research*, 15(6), 553-564.